

Оцінка показника кришення ґрунту при основному безполицевому обробітку

В статті представлений можливий варіант визначення теоретичним шляхом показника кришення ґрунту при безполицевому обробітку.

безполицевий обробіток, ступінь подрібнення ґрунту, інтенсивність утворення певної фракції ґрунту, сколювання, глибина обробітку, пластичні деформації

Ґрунтовий покрив України дуже різноманітний за механічним складом. Але конструкції комбінованих ґрунтообробних агрегатів, які використовуються на всій території не враховують даних особливостей. Щоб спроектувати знаряддя адаптоване до конкретних умов застосування необхідно знати як може впливати на ґрунт, змінювати його агрегатний склад робочий орган при відповідних конструктивних, технологічних і експлуатаційних параметрах. Отримати дану інформацію для окремих умов можна експериментальним шляхом, та враховуючи значну мінливість властивостей ґрунтів накопичити подібну інформацію в систематизованому вигляді практично не представляється можливим. Доступним залишається тільки визначення даних характеристик теоретичним шляхом. Тому вивчення процесів, які протікають в ґрунтах при взаємодії їх з робочими органами залишається цілком актуальним.

Задача, яка вирішується в даній роботі полягає в розробці методики визначення теоретичним шляхом показника кришення ґрунту, як якісного показника обробітку за умови розгляду перетворень, що протікають під дією робочих органів як стохастичних процесів.

Ступінь подрібнення при безполицевому обробітку ґрунту S_n та показник якості C_0 при ймовірності P_0 , коли розміри структурних агрегатів будуть в межах $a \leq a_0$. найбільш доцільно визначати як відсотковий вміст в ньому агрегатів розміри яких не перевищують задане граничне значення по формулі

$$S_n = 1 - P_0, \quad C_0 = (1 - P_0) \cdot 100\%. \quad (1)$$

Структуру (рис.1.) та якість комбінованого обробітку при послідовній дії робочих органів відповідно можна визначити як

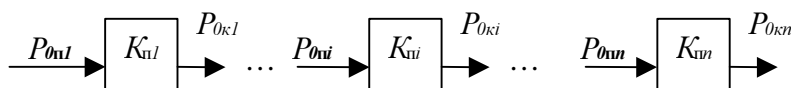


Рисунок 1 – Структура послідовної дії робочих органів комбінованого агрегату

$$K_n = \frac{P_{0\Pi 1}}{P_{0\Pi 1}} \dots \frac{P_{0\Pi i}}{P_{0\Pi i}} \dots \frac{P_{0\Pi n}}{P_{0\Pi n}} = \prod_{i=1}^n K_{\Pi i}, \quad C = (1 - K_n \cdot P_{0\Pi 1}) \cdot 100\% \quad (2)$$

Розглядаючи ґрунт як фізичну систему в якій відбувається випадковий процес утворення агрегатів, що протікає в часі та заданому горизонті $x(t,y)$ з дискретними станами U_0 , U_1 та U_2 за приведеним графом (рис. 2) його динаміку можна записати у вигляді системи рівнянь Колмогорова [1]

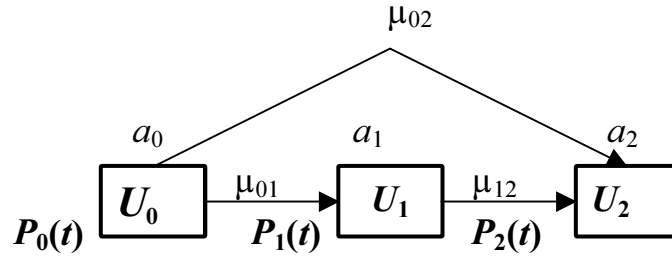


Рисунок 2 – Розмічений граф станів підмножин ґрунту U_0, U_1, U_2 , де $a_2 < a_1 < a_0$ - максимальні розміри агрегатів заданої фракції..

$$\begin{aligned} dp_0(t)/dt &= -\mu_{01}p_0(t) - \mu_{02}p_0(t), \\ dp_1(t)/dt &= \mu_{01}p_0(t) - \mu_{12}p_1(t), \\ dp_2(t)/dt &= \mu_{02}p_0(t) + \mu_{12}p_1(t), \end{aligned} \quad (3)$$

Інтегрування цих рівнянь при нормованій та початковій умовах $p_0(0)=1, p_1(0)=p_2(0)=0$ $p_0(t)+p_1(t)+p_2(t)=1$ дозволяє визначити основну характеристику довільного стану ґрунту

$$p_0(t) = e^{-\mu_{01}t}$$

$$p_1(t) = \frac{\mu_{01}}{\mu_{01} - \mu_{12}} (e^{-\mu_{12}t} - e^{-\mu_{01}t}), \quad p_2(t) = 1 - \frac{\mu_{02} - \mu_{12}}{\mu_{01} - \mu_{12}} e^{-\mu_{01}t} - \frac{\mu_{01}}{\mu_{01} - \mu_{12}} e^{-\mu_{12}t}.$$

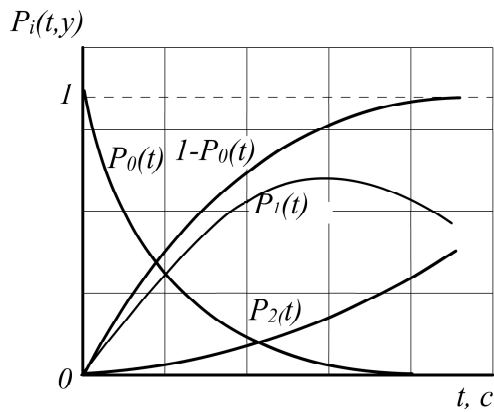


Рисунок 3 – Графіки зміни станів ґрунту відповідно до графа

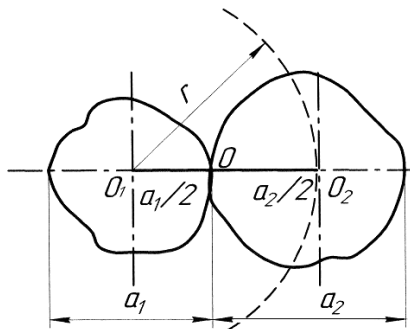


Рисунок 4 – Схема до визначення розміру агрегатів

Графіки зміни станів ґрунту в часі на заданому горизонті матимуть вигляд (рис. 3.)

Щоб визначити інтенсивність утворення заданої розмірної фракції агрегатів ґрунту після закінчення дії робочого органу будемо розглядати подрібнену масу, що має пуасонівський просторовий розподіл розташування центрів агрегатів із заданою щільністю. Тоді, якщо з центру одного із двох суміжних агрегатів O_1 (рис. 4) окреслити сферу радіусом r що перетинає центр O_2 суміжного агрегату, то щоб відстань $O_1 O_2$ була менша r треба щоб в сферу радіусом r попала принаймні одна точка – центр іншого агрегату. Тоді функція та щільність розподілу параметра r , що дорівнює сумі радіусів двох агрегатів будуть визначатися як

$$F(r) = 1 - e^{-\lambda 4/3 \pi r^3};$$

$$f(r) = 4\pi\lambda r^2 \cdot e^{-\lambda 4/3 \pi r^3},$$

де $4/3 \pi r^3$ - об'єм сфери радіусом $r = a$.

$$f(a) = 4\pi\lambda a^2 \cdot e^{-\lambda 4/3 \pi a^3}$$

$$\alpha_0 = \frac{4}{3} \lambda_0 \pi \cdot a_0^3 = \mu_0 t$$

Вважаючи що інтенсивність подрібнення ґрунту залежить від співвідношення параметра

що характеризує властивості ґрунту T твердість та величину затраченої роботи A_{Π} що пішла на руйнування можна записати

$$\lambda_0 = \frac{T}{A_{\Pi}} \quad \alpha_0 = \frac{T}{A_{\Pi}} \frac{4}{3} \pi \alpha_0^3 \quad (4)$$

Розглядаючи ґрунт як пружно-пластичну механічну структуру академік Ребіндер запропонував оцінювати роботу дії робочого органу на ґрунт A_y , як суму робіт або енергій, одна з яких накопичується в ґрунті у вигляді потенційної енергії пружної деформації A_{∂} , а інша A_{Π} втрачається за рахунок її поглинання у вигляді пластичної деформації, яка в основному йде на руйнування первинних структурних агрегатів

Тоді енергетичний баланс взаємодії робочого органу з ґрунтом за час Δt можна записати у вигляді закону Ребіндера

$$A_y = A_{\partial} + A_{\Pi}$$

По закону Гука

$$A_y = \frac{v_y N \Delta t}{2} = \frac{1}{2} v_y \sigma_y S_e \Delta t,$$

$$A_{\partial} = \frac{1}{2} \sigma_{\partial} \cdot S \Delta y,$$

$$A_{\Pi} = \frac{1}{2} \sigma_{\Pi} \cdot S_e \cdot \Delta y,$$

де v_y – швидкість деформації;

N – сила опору ґрунту;

σ - напруження.

Тоді баланс енергії в об'ємі ґрунту V_e [2] буде (рис 5.)

$$[v_y (\sigma_y|_{y_1} - \sigma_y|_{y_2})] \cdot S \cdot \Delta t = [(\sigma_{\partial} + \sigma_{\Pi})|_{t_2} - (\sigma_{\partial} + \sigma_{\Pi})|_{t_1}] \cdot S \cdot \Delta y. \quad (5)$$

$$\text{При } \Delta t \rightarrow 0 \text{ і } \Delta y \rightarrow 0 \text{ отримаємо } -v_y \cdot \frac{d\sigma_y}{dy} = \frac{d\sigma_{\Pi}}{dt} + \frac{d\sigma_{\partial}}{dt} \quad (6)$$

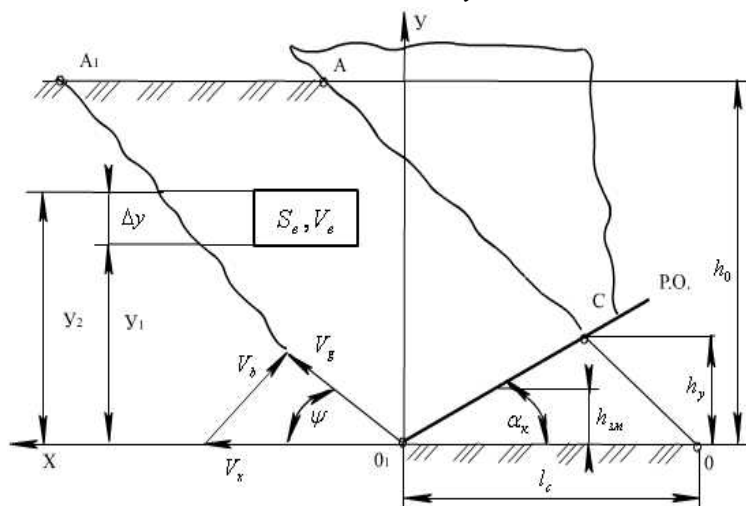


Рисунок 5 – Схема взаємодії робочого органу з елементом ґрунту

До цього рівняння необхідно додати рівняння кінетики процесу подрібнення, яке визначає інтенсивність зміни напруження, що витрачається при руйнуванні ґрунту

$$\frac{d\sigma_{\Pi}}{dt} = \beta(\sigma_y - \varepsilon\sigma), \quad (7)$$

де β – кінетичний коефіцієнт поглинання;

ε – коефіцієнт пропорційності, що характеризує пластичні властивості ґрунту.

Враховуючи граничні умови $\sigma_{\Pi}(y,0) = \sigma_y(y,0) = 0$, $\sigma_y(0,t) = \sigma_0$,
де σ_0 – величина напруження на поверхні робочого органу;

та при $\Delta\sigma_{\partial} = \text{const}$ $\frac{d\sigma_{\partial}}{dt} = 0$ отримаємо

$$-v_y \frac{d\sigma_y}{dy} = \frac{d\sigma_{\Pi}}{dt} = \beta(\sigma_y - \varepsilon\sigma_{\Pi}).$$

Інтегрування цього рівняння окремо при умові $t = 0$, коли $\sigma_{\Pi}(y,0) = 0$ та $y=0$ дає залежність напруження в ґрунті від глибини (y) та часу (t) обробітку

$$\sigma_y(y,0) = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{\beta}{v_y} y}, \quad (8)$$

$$\sigma_{\Pi}(0,t) = \frac{\sigma_0}{\varepsilon} \left(1 - e^{-\beta \varepsilon t} \right). \quad (9)$$

Напруження на поверхні робочого органу σ_0 можна визначити (рис. 1) через величину та коефіцієнт об'ємного зминання h_{3M} q , величину, швидкість та середнє значення деформації відриву скиби h_{∂} ; V_{∂} ; $h_{\partial,cp}$, об'єм та перетин зминання V_{3M} , S_{3M} , по слідуочій схемі

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= q \cdot h_{\partial,cp}. \\ q &= \frac{P}{V_{3M}} = \frac{P}{S_{3M} \cdot h_{3M}} = \frac{E_{\Gamma}}{h_{3M}}, & h_{3M} &= \frac{v h_0}{2}, \\ h_{\partial,cp} &= \frac{h_{\partial}}{2} = \frac{V_{\partial} \cdot t_{\partial}}{2}, & V_{\partial} &= V_x \sin \psi; & t_{\partial} &= \frac{l_c}{V_x}, \\ \sigma_0 &= \frac{E_{\Gamma} l_c \sin \psi}{v h_0}, \end{aligned}$$

де v – відносний коефіцієнт лінійних пластичних деформацій ґрунту [3];

E_{Γ} – граничне напруження руйнування ґрунту.

Тоді підстановка σ_0 в (9) дає можливість розрахувати напруження та роботу руйнування ґрунту

$$\begin{aligned} \sigma_{\Pi}(0,t) &= \frac{E_{\Gamma} l_c \sin \psi}{\varepsilon v h_0} (1 - e^{-\beta \varepsilon t}), \\ A_{\Pi} &= \frac{\sigma_{\Pi}^2 \cdot V_c}{2 E_{\Gamma}}, & A_{\Pi} &= \frac{E_{\Gamma} V_c l_c^2 \sin^2 \psi V_c}{2 \varepsilon^2 v^2 h_0^2} (1 - e^{-\beta \varepsilon t})^2. \end{aligned} \quad (10)$$

Графік залежності розмірів скиби сколювання ґрунту від глибини обробітку (рис.6) було отримано дослідним шляхом при $\varphi_2 = \text{const}$

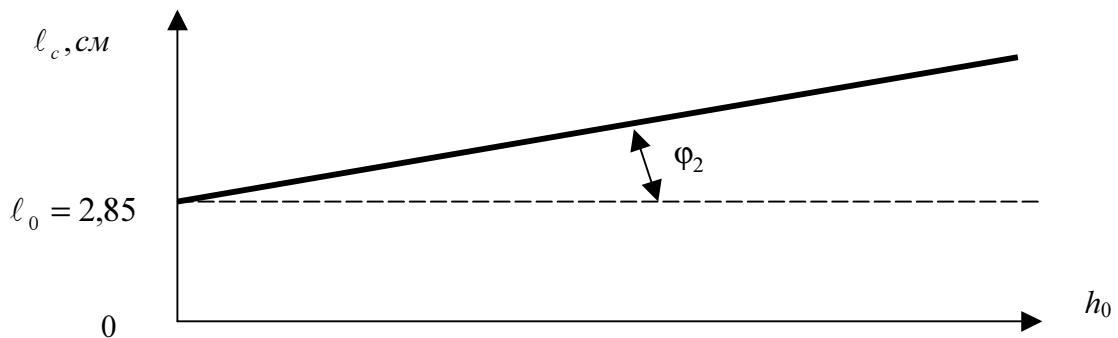


Рисунок 6 – Залежність розмірів скиби сколювання ґрунту

Апроксимація цього графіку напівемпіричною залежністю дає

$$l_c = l_0 + 2tg\varphi_2 v h_0, \quad (11)$$

де φ_2 – кут внутрішнього тертя ґрунту.

Отримана закономірність (рис.6) досить близько відповідає діаграмам деформації матеріалів в пластичній області [3].

Кут нахилу тріщини відриву до дна борозни ψ розраховуємо по формулі Зворикіна-Горячкіна при кутах кришення α_k та зовнішнього тертя φ_1

$$\psi = 90 - \frac{\alpha_k + \varphi_1 + \varphi_2}{2}.$$

Величину об'єму скиби визначимо при умові, що її горизонтальний перетин являє собою прямокутник

$$V_c = l_c \times l_c \times h_0.$$

Кінетичний коефіцієнт деформації ґрунту β визначимо як відношення величини швидкості до величини деформації скиби

$$\beta = \frac{V_x}{l_c} = \frac{V_x}{V_x t_s} = \frac{1}{t_s}.$$

Після підстановки A_{II} в α_0 при умові, що твердість ґрунту дорівнює граничному значенню напруження E_T в кінцевому вигляді отримаємо

$$\alpha_0 = \frac{8,37 a_0^3 \epsilon^2 v^2 h_0^2}{l_c^2 \cdot \sin^2 \psi \cdot V_c} (1 - e^{-\beta \epsilon t_s})^{-2}$$

при підстановці значень параметрів l_c , V_c та β якість подрібнення ґрунту при безполицевому обробітку буде

$$C = \left[1 - \exp \frac{-8,37 a_0^3 \epsilon^2 v^2 h_0^2}{(l_0 + 2tg\varphi_2 v h_0)^4 \sin^2 \psi} (1 - e^{-\epsilon})^{-2} \right] \cdot 100. \quad (12)$$

Скориставшись програмним забезпеченням Matkad отримаємо графічне зображення залежності якісного показника кришення ґрунту від параметрів робочого органу, властивостей ґрунту і режимів його обробітку (рис.7.) Відображенням технологічних властивостей ґрунту при розглянутому підході є показник лінійних пластичних деформацій v , але більш зручним в використанні і визначенні в господарських умовах є корельований з v показник твердості ґрунту T .

$C_1 = f(h_0)$ - розраховано при $\alpha_k = 34^\circ$, $v = 0,0812$, $a_0 = 5\text{см}$;

$C_2 = f(a_0)$ - розраховано при $\alpha_k = 34^\circ$, $v = 0,0812$, $h_0 = 13\text{см}$;

$C_3 = f(v)$ - розраховано при $\alpha_k = 34^\circ$, $a_0 = 5\text{см}$, $h_0 = 13\text{см}$;

$C_4 = f(\alpha_k)$ - розраховано при $a_0 = 5\text{см}$, $v = 0,0812$, $h_0 = 13\text{см}$.

$C_5 = f(T)$ - розраховано при $\alpha_k = 34^\circ$, $a_0 = 5\text{см}$, $h_0 = 13\text{см}$; для глини важкої, при щільності $d=1,5 \text{ г/см}^3$ та зміні абсолютної вологості ґрунту від 1 до 27%

Висновки

1. Для аналітичного дослідження процесу безполицевого обробітку ґрунту може застосовуватися стохастична реологічна модель подрібнення як зміни станів (агрегатного складу) ґрунту в часі і просторі по глибині обробітку.

2. Ефективність подрібнення ґрунту, або якість обробітку можна визначати через величину ступеня подрібнення в абсолютному, відносному та відсотковому значенні чи інтенсивність утворення агрегатів заданих розмірів які протікають в часі змінюючись по експоненціальному закону із заданою циклічністю.

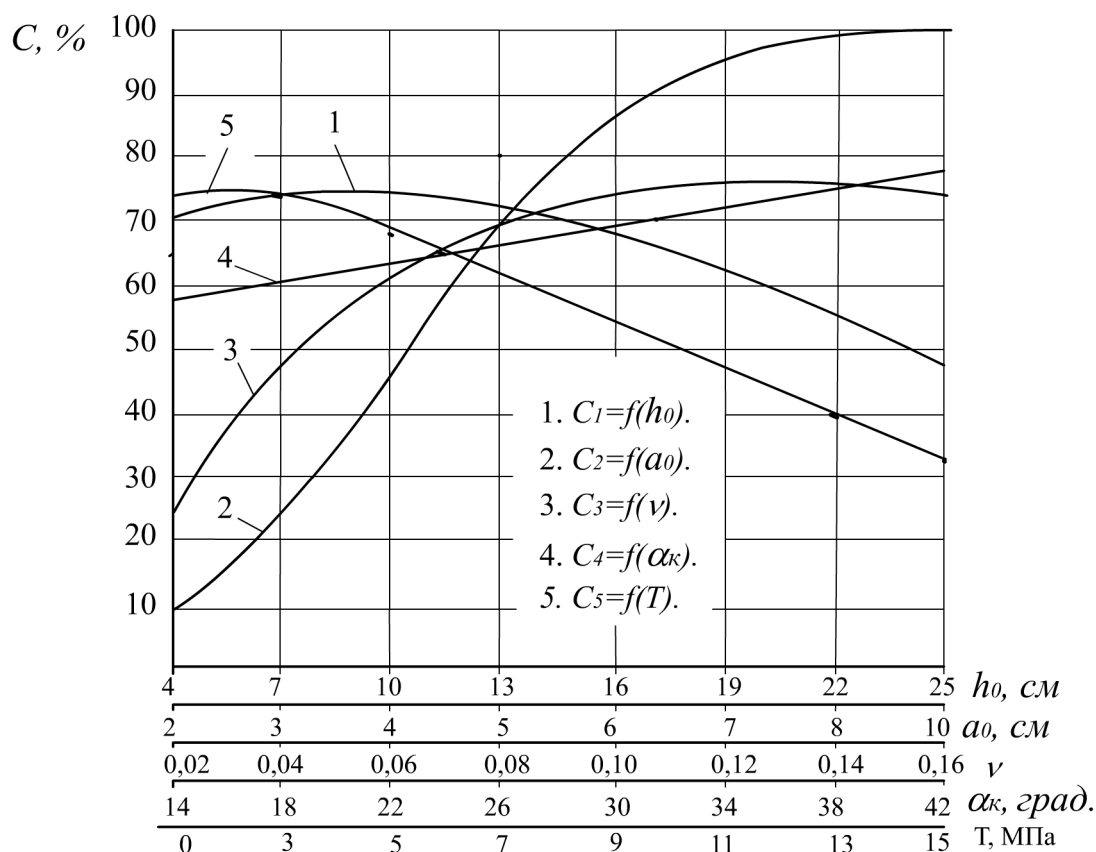


Рисунок 7 – Залежності якісного показника кришення ґрунту від його властивостей, параметрів робочого органу і режимів обробітку

3. Експоненціальний характер зміни напруження в ґрунті з віддаленням від поверхні робочого органу аналогічно змінює ступінь подрібнення ґрунту, тому для забезпечення рівномірного розподілу агрегатів заданих розмірів по глибині обробітку доцільно подрібнювати ґрунт з застосуванням ярусно розташованих робочих органів.

Список літератури

1. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. М., "Машиностроение", 1974 – 472 с.
2. Тихонов А.М., Самарский А.А. Уравнения математической физики. Изд. "Наука", М., 1977 – 763 с.
3. Сало В.М. Визначення залежності пластичних деформацій ґрунтів від фізико-механічних властивостей /Збірник наукових праць "Конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарських машин". Випуск 30., Кіровоград, КДТУ, 2001.– С. 43.

В статті представлений можливий варіант визначення теоретичним путем показателя крошення ґрунту при безотвальной оброботке

The article gives a possible variant to determine the loosening ground index in the process of subsurface tillage by theoretical way

Одержано 02.11.06